

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 21620071151867

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

# 不同环境因素下假微型海链藻胞外多糖的 分泌及 MALDI-TOF 质谱分析

The Secretion and MALDI-TOF Mass Spectrometry of  
Exopolysaccharides from *Thalassiosira pseudonana* under  
Different Environmental Factors

指导教师姓名: 梁君荣副教授

专 业 名 称: 生物化学与分子生物学

论文提交日期: 2010 年 6 月

论文答辩时间: 2010 年 9 月

学位授予日期: 2010 年 月

答辩委员会主席: 齐雨藻

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2010 年 9 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( 生命科学学院藻类 )课题(组)的研究成果,获得( 藻类 )课题(组)经费或实验室的资助,在( 硅藻实验室 )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名): 艾欣欣

2010 年 9 月 3 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（    ☒    ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：艾欣欣

2010 年 9 月 3 日

# 目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	III
第一章 前言 .....	1
1.1 多糖概述 .....	1
1.1.1 多糖的结构 .....	1
1.1.2 海洋微藻胞外多糖 .....	2
1.2 海洋微藻胞外多糖研究进展 .....	3
1.2.1 海洋微藻胞外多糖生物量的影响因素 .....	3
1.2.2 海洋微藻胞外多糖的提取、分离与纯化 .....	6
1.2.3 海洋微藻胞外多糖的结构分析 .....	9
1.2.4 海洋微藻胞外多糖独特的生物活性 .....	12
1.3 MALDI-TOF-MS 质谱分析在糖研究中的应用 .....	16
1.3.1 MALDI-TOF-MS 仪器基本原理及特点 .....	16
1.3.2 MALDI-TOF-MS 质谱在多糖结构分析中的应用 .....	18
1.4 本论文研究的目的和意义 .....	21
第二章 材料和方法 .....	23
2.1 藻种来源及培养 .....	23
2.2 主要试剂与仪器 .....	23
2.2.1 主要试剂 .....	23
2.2.2 主要培养基 .....	23
2.2.3 主要仪器 .....	24
2.3 实验方法 .....	25
2.3.1 藻生长过程中细胞数变化的测定 .....	25
2.3.2 苯酚-硫酸法测多糖含量 .....	26
2.3.3 改良型 Bradford 法测定蛋白浓度 .....	26
2.3.4 胞外多糖的提取与纯化方法 .....	27

2.3.5 多糖样品的质谱分析方法 .....	29
2.3.6 MALDI-TOF-MS 对标准葡聚糖样品的分析 .....	29
2.3.7 不同去蛋白方法对多糖提取及质谱的影响 .....	30
2.3.8 冷冻干燥和旋转蒸发浓缩对假微型海链藻胞外多糖质谱的影响 .....	31
2.3.9 培养条件对假微型海链藻生长、胞外多糖的释放及质谱分析的影响 .....	31
<b>第三章 实验结果 .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 MAIDI-TOF-MS 分析硅藻胞外多糖方法的优化.....</b>	<b>34</b>
3.1.1 层析法和透析法的脱盐效果 .....	34
3.1.2 检测模式、基质和离子化试剂对标准葡聚糖样品的 MALDI-TOF-MS 质谱分析的影响 .....	35
3.1.3 不同去蛋白方法影响假微型海链藻胞外多糖的得率及质谱分析 .....	42
3.1.4 冷冻干燥和旋转蒸发浓缩对假微型海链藻胞外多糖的质谱分析影响 .....	46
<b>3.2 假微型海链藻胞外多糖的分泌及质谱分析图谱随生长周期的变化情况.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3 不同培养条件对假微型海链藻生长、胞外多糖的释放及质谱分析的影响.....</b>	<b>51</b>
3.3.1 通气培养影响假微型海链藻的生长及其胞外多糖 .....	51
3.3.2 不同 N 情况下假微型海链藻的生长, 胞外多糖的分泌及其质谱图谱 .....	55
3.3.3 不同 P 情况下假微型海链藻的生长, 胞外多糖的分泌及其质谱图谱 .....	60
3.3.4 不同光暗周期影响假微型海链藻的生长及其胞外多糖的分泌 .....	67
<b>第四章 讨 论 .....</b>	<b>70</b>
<b>4.1 MAIDI-TOF-MS 分析硅藻胞外多糖方法的优化.....</b>	<b>70</b>
4.1.1 层析法和透析法的脱盐效果比较 .....	70
4.1.2 检测模式、基质和离子化试剂对标准葡聚糖样品的 MALDI-TOF-MS 质谱分析的影响 .....	70
4.1.3 不同去蛋白方法对多糖提取及质谱的影响 .....	72
4.1.4 冷冻干燥和旋转蒸发浓缩对假微型海链藻胞外多糖质谱的影响 .....	74
<b>4.2 假微型海链藻胞外多糖的分泌及质谱分析图谱随生长周期的变化.....</b>	<b>75</b>
<b>4.3 培养条件对假微型海链藻生长、胞外多糖的释放及质谱分析的影响.....</b>	<b>76</b>
4.3.1 通气培养对假微型海链藻的生长、胞外多糖的分泌及其质谱图谱的影响 .....	76

4.3.2 不同 N 情况下假微型海链藻的生长、胞外多糖的分泌及其质谱图谱 ....	77
4.3.3 不同 P 情况下假微型海链藻的生长、胞外多糖的分泌及其质谱图谱 .....	78
4.3.4 不同光暗周期下假微型海链藻的生长，胞外多糖的分泌及其质谱图谱 .	79
<b>第五章 总结与展望 .....</b>	<b>80</b>
5.1 总结 .....	80
5.2 展望 .....	80
<b>参 考 文 献 .....</b>	<b>82</b>
<b>在学期间发表的论文和参与的课题 .....</b>	<b>92</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>93</b>

# Contents

<b>Abstract in Chinese.....</b>	<b>I</b>
<b>Abstract in English .....</b>	<b>III</b>
<b>Chapter 1. Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Polysaccharide .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 The structure of polysaccharide.....	1
1.1.2 Exopolysaccharide of marine microalgae .....	2
<b>1.2 Review of the research on exopolysaccharide of marine microalgae.....</b>	<b>3</b>
1.2.1 Influence factors on biomass of exopolysaccharide of marine microalgae.....	3
1.2.2 Extraction, separation and purification of exopolysaccharide of marine microalgae .....	6
1.2.3 Analysis of polysaccharide structure .....	9
1.2.4 Unique biological activity of microalgae exopolysaccharides.....	12
<b>1.3 MALDI-TOF-MS mass spectrometry in the sugar research.....</b>	<b>16</b>
1.3.1 Basic principles and characteristics of MALDI-TOF-MS .....	16
1.3.2 MALDI-TOF-MS mass spectrometry in the structural analysis of polysaccharide .....	18
<b>1.4 Purpose and significance of this study .....</b>	<b>21</b>
<b>Chapter 2. Material and methods .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1 Source of microalgae strains.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2 Main reagent and instruments .....</b>	<b>23</b>
2.2.1 Main reagent.....	23
2.2.2 Main media.....	23
2.2.3 Main instrument .....	24
<b>2.3 Methods .....</b>	<b>25</b>
2.3.1 Determination of cell number in the process of growth.....	25
2.3.2 Determine the polysaccharide content by Phenol-sulfuric acid method .....	26
2.3.3 Determine the protein content by modified Bradford method .....	26
2.3.4 Extraction and purification method of exopolysaccharide.....	27
2.3.5 MALDI-TOF-MS analysis of polysaccharide.....	29
2.3.6 MALDI-TOF-MS analysis of standard dextran .....	29

2.3.7 Influences of de-protein methods on the mass analysis of the extracellular polysaccharide of <i>Thalassiosira pseudonana</i> .....	30
2.3.8 Effects of freeze-drying and rotary evaporation on MS analysis of exopolysaccharide released by <i>Thalassiosira pseudonana</i> .....	31
2.3.9 Effects of different culture conditions on the growth, polysaccharide release and MS analysis of <i>Thalassiosira pseudonana</i> .....	31
<b>Chapter 3. Results .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Optimization of MAIDI-TOF-MS analysis diatom extracellular polysaccharide method.....</b>	<b>34</b>
3.1.1 Desalination effect of chromatography and dialysis method .....	34
3.1.2 Effects of detection mode, matrix and impact ionization reagent on MALDI-TOF-MS analysis of standard dextran .....	35
3.1.3 Different de-protein method effect the yield and mass spectrometry of polysaccharide released by <i>Thalassiosira pseudonana</i> .....	42
3.1.4 Effects of freeze-drying and rotary evaporation on MS analysis of exopolysaccharide released by <i>Thalassiosira pseudonana</i> .....	46
<b>3.2 The secretion and mass spectrometry of exopolysaccharide released by <i>Thalassiosira pseudonana</i> changed with the growth cycle .....</b>	<b>47</b>
<b>3.3 Effects of different culture conditions on the growth, polysaccharide release and MS analysis of <i>Thalassiosira pseudonana</i>.....</b>	<b>51</b>
3.3.1 Effect of aerated culture on the growth and exopolysaccharide of <i>Thalassiosira pseudonana</i> .....	51
3.3.2 Growth, the secretion and mass spectrometry of extracellular polysaccharides of <i>Thalassiosira pseudonana</i> under different different nitrogen conditions .....	55
3.3.3 Growth, the secretion and mass spectrometry of extracellular polysaccharides of <i>Thalassiosira pseudonana</i> under different different phosphorus conditions .....	60
3.3.4 Effect of different light:dark cycle on the growth and exopolysaccharide of <i>Thalassiosira pseudonana</i> .....	67
<b>Chapter 4. Discussion .....</b>	<b>70</b>
<b>4.1 Optimization of MAIDI-TOF-MS analysis diatom extracellular</b>	



<b>polysaccharide method</b> .....	70
4.1.1 Comparison of chromatography and dialysis method .....	70
4.1.2 MALDI-TOF-MS analysis of standard dextran .....	70
4.1.3 Effects of different de-protein method on extraction and mass analysis of polysaccharide .....	72
4.1.4 Effects of freeze-drying and rotary evaporation on MS analysis of exopolysaccharide released by <i>Thalassiosira pseudonana</i> .....	74
<b>4.2 The secretion and mass spectrometry of exopolysaccharide released by     <i>Thalassiosira pseudonana</i> changed with the growth cycle</b> .....	75
<b>4.3 Effects of different culture conditions on the growth, polysaccharide release     and MS analysis of <i>Thalassiosira pseudonana</i></b> .....	76
4.3.1 Effect of aerated culture on the growth and exopolysaccharide of <i>Thalassiosira pseudonana</i> .....	76
4.3.2 Growth, the secretion and mass spectrometry of extracellular polysaccharides of <i>Thalassiosira pseudonana</i> under different different nitrogen conditions .....	77
4.3.3 Growth, the secretion and mass spectrometry of extracellular polysaccharides of <i>Thalassiosira pseudonana</i> under different different phosphorus conditions .....	78
4.3.4 Effect of different light:dark cycle on the growth and exopolysaccharide of <i>Thalassiosira pseudonana</i> .....	79
<b>Chapter 5. Conclusion and prospect</b> .....	80
<b>5.1 Conclusion</b> .....	80
<b>5.2 Prospect</b> .....	80
<b>References</b> .....	82
<b>Published papers and participated research projects</b> .....	92
<b>Acknowledgement</b> .....	93

## 摘要

海洋浮游硅藻是海洋生态系统中最主要的初级生产者，是全球碳固定主要的贡献者之一。海洋硅藻胞外多糖是由海洋硅藻在其生长过程中产生和分泌的一类复杂的粘性物质。近年来人们发现某些海洋硅藻的胞外多糖产物的化学结构和组成特殊，具有重要的生物活性，在药物和保健品开发利用方面具有很大的潜在应用前景。因此，海洋硅藻胞外多糖的研究引起了海洋学家的高度重视，成为目前海洋科学研究的热点之一。

本论文选用海洋硅藻中心纲海链藻属的假微型海链藻 (*Thalassiosira pseudonana* Hasle et Heimdal) CCMP1335为研究对象，初步建立MALDI-TOF质谱分析假微型海链藻胞外多糖的方法，对比了不同提取方法对胞外多糖质谱分析的影响，分析了不同培养条件下假微型海链藻胞外多糖的分泌，及其质谱图谱，为今后利用质谱技术研究海洋硅藻胞外多糖的结构及其在海洋生态系统中的作用奠定了一定的基础。主要结果如下：

1) 利用 MALDI-TOF-MS 分析葡聚糖，反射模式是较好的选择，DHB是较好的基质，它可以直接溶于双蒸水进行分析，在以DHB为基质分析葡聚糖时，基质的浓度为10mg/mL，并加入Na<sup>+</sup>作为阳离子化试剂能得到较好的质谱图。

2) 在假微型海链藻胞外多糖的分离、提取和纯化过程中，冷冻干燥和旋转蒸发浓缩对胞外多糖的质谱分析的影响不显著，不同的去蛋白方法会得到不同的多糖得率，其中TCA法去蛋白多糖得率最高，三种方法都能较好地去除蛋白，但用Sevag法去蛋白的样品进行质谱分析可能存在一定的不稳定性。相对于层析脱盐来说，透析是较简单方便的脱盐方法。

3) 假微型海链藻在对数生长期后期，胞外多糖的分泌量较对数期前期有所下降，从第四天的0.25  $\mu\text{g}/10^6\text{cells}$ 降至第八天的0.08  $\mu\text{g}/10^6\text{cells}$ 。但在生长的稳定期后胞外多糖的分泌量大增。通气培养条件下，增加了培养基中CO<sub>2</sub>的含量，会促进假微型海链藻的生长，藻细胞最高浓度由 $5 \times 10^6\text{ cells/mL}$ 增至 $12.8 \times 10^6\text{ cells/mL}$ ，同时从对数期后期开始，通气培养的藻细胞胞外多糖的分泌量就始终较高。质谱分析结果表明，假微型海链藻胞外多糖的相对分子质量和相对分子质量分布随CO<sub>2</sub>含量的影响不明显，但随生长周期有一定的变化。进入稳定期后，

假微型海链藻胞外多糖的主要聚合物分子量分布较广，且最高峰均有所下降。

4) 培养基中不同N, P营养盐的浓度，不同N源 ( $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 尿素), P源 ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\beta$ -甘油磷酸钠) 及不同的光暗周期都对假微型海链藻的生长及胞外多糖的分泌有一定的影响。N, P营养盐对藻细胞的生长都有一定的限制作用，N营养盐的限制还促进稳定期后假微型海链藻胞外多糖的释放。 $\text{NH}_4^+$ 为唯一氮源时延长了指数生长期，且在实验后期，胞外多糖的含量明显高于其他组。尿素为唯一氮源时，在稳定期前能明显促进胞外多糖的释放。 $\beta$ -甘油磷酸钠为磷源时对藻生长影响不大，但稳定期后促进胞外多糖的释放。连续光照下，藻细胞迅速进入稳定期，也较快进入衰亡期，但胞外多糖的分泌量较高。

5) 假微型海链藻胞外多糖的MALDI-TOF-MS分析图谱表明，当N,P营养盐在一定浓度的限制下 (1/5N,1/10P) 会影响构成胞外多糖的单体成分，分子量分布及聚合度，出现五碳糖单体。以 $\text{NH}_4^+$ 为唯一氮源时，胞外多糖的分子量分布最广，高聚物的相对丰度较高，胞外多糖的聚合度较高。 $\text{PO}_4^{2-}$ ,  $\beta$ -甘油磷酸钠这两种P源则对假微型海链藻胞外多糖的整体结构影响不大。光暗周期对胞外多糖的分子量分布有一定的影响，在连续光照和光暗周期为12h:12h时，相对丰度较高的聚合物分子量分布范围较广。

**关键词：**假微型海链藻 胞外多糖 MALDI-TOF-MS

## Abstract

Marine planktonic diatoms are the most important primary producers in marine ecosystems, they are the predominant contributors to global carbon fixation. Exopolysaccharide of marine diatoms is a class of complex viscous material which is secreted by diatoms in the growth medium. Recently, identification and structural characterization of extracellular polysaccharides produced by some marine diatoms have shown special interest as a result of their proved important biological activities. Extracellular polysaccharides from marine diatom present great potential applications in the drug development and utilization, as well as diverse health products. Therefore, the extracellular polysaccharides from marine diatoms attract great attention of marine scientists, and become one of the hot spots of marine scientific research.

In this work, centric diatom *Thalassiosira pseudonana* Hasle et Heimdal strain CCMP1335 was used. We used MALDI-TOF-MS to analysis the extracellular polysaccharides produced by *Thalassiosira pseudonana*. The influence of different extraction methods on the mass of extracellular polysaccharides was assessed. Furthermore, the secretion and mass analysis of extracellular polysaccharides from *T. pseudonana* under different culture conditions were studied. This work laid the foundation for the further study on the structural characterization of exopolysaccharides from marine diatom using mass spectrometry and the role of marine diatom in marine ecosystems. This study revealed the following results:

1) The reflection mode was proved to be a better choice for analysis of dextran using MALDI-TOF-MS, and DHB was the better matrix since it can be directly dissolved in distilled water. Using DHB as the matrix in dextran analysis can provide a better mass spectra when the matrix concentration is 10mg/mL with Na<sup>+</sup> as the ionization agent.

2) In the process of separation, extraction and purification of the extracellular polysaccharide from *T. pseudonana*, the effect of freeze-drying and rotary evaporation concentration on mass spectrometry of the exopolysaccharide was not

significant. Using different de-protein methods to remove protein, yield of polysaccharides was different, and the TCA method showed the highest yield, though all the three methods were good for proteins removal. However, sevag method was found to be instsble while mass analysis. As for desalination, dialysis showed advantage over chromatography.

3) The secretion of extracellular polysaccharides produced by *Thalassiosira pseudonana* was often lower in late logarithmic phase than early logarithmic phase; from  $0.25 \mu\text{g}/10^6\text{cells}$  on fourth day to  $0.08 \mu\text{g}/10^6\text{cells}$  on eighth day. However, it increased significantly after stationary phase. When aerated cultured, *Thalassiosira pseudonana* growth increased with the increasing  $\text{CO}_2$  content in the medium. The highest cell density, from  $5 \times 10^6$  cells/mL to  $12.8 \times 10^6$  cells/mL, and exopolysaccharide secretion was always higher from late logarithmic phase. Spectrum of the exopolysaccharedes indicated that the molecular weight and molecular weight distribution of extracellular polysaccharides do not change significantly with the  $\text{CO}_2$  content while the latter certain changes with growth cycle. After stationary phase, the range of molecular weight distribution of main polymer of the exopolysaccharide is wider than usual, and the highest peak of molecular weight drops down.

4) The N, P concentration in the medium, different N source ( $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  and urea), P source ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\beta$ -glycerophosphate), and different light: dark cycle all presented different effects on the growth and the secretion of extracellular polysaccharides from *T. pseudonana*. The depeletion of N, P nutrient in the medium showed the growth inhibition of *T. pseudonana*. Interestingly, nitrogen starvation promoted the release of extracellular polysaccharides. When  $\text{NH}_4^+$  was used as nitrogen source, the exponential growth phase of algae was extended, and the exopolysaccharide secretion was higher than other groups. On the other hand, urea as the N source caused an obvious increase in polysaccharide release before stationary phase.  $\beta$ -glycerophosphate as the phosphorus source showed little effect on the growth of *T. pseudonana*, but it could promote the secretion of exopolysaccharide after stationary phase. Under 24 hours of continuous light, exhibited early stable period, after the first four days, as well as the decline phase entrance, but the amount

of exopolysaccharide was still high.

5) MS analyses of the extracellular polysaccharide produced by *Thalassiosira pseudonana* showed that certain N, P nutrient limitation affects the monomer composition of exopolysaccharides, the molecular weight distribution and the polymerization degree (appearance of five carbon sugar monomers).  $\text{NH}_4^+$  as nitrogen source presented the widest range of molecular weight distribution, as well as higher the relative abundance of polymers and the polymerization degree of extracellular polysaccharide. The two phosphorus source ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\beta$ -glycerophosphate) had little effect on the overall structure of exopolysaccharides from *T. pseudonana*. Finally, Light dark cycle could affect the molecular weight distribution of exopolysaccharides of *T. pseudonana*. Continuous illumination or 12h:12h light/dark showed wider range of the molecular weight distribution of high molecular weight polymer.

Key words : *Thalassiosira pseudonana*; extracellular polysaccharide; MALDI-TOF-MS

## 第一章 前言

糖类是组成生命体最重要的生物大分子之一，广泛存在于高等植物、微生物（细菌、真菌）、地衣和海藻中（方积年，1986），是自然界中含量最丰富的生物聚合物，它参与了生命现象中细胞的各种活动（Franz,1989）。多糖具有能量储存、结构支持、防御和抗原决定性等多方面的生物功能，免疫细胞间信息的传递和感受也与细胞表面多糖体的介导有密切关系。另外，大量药理和临床研究发现，从天然产物中分离出的多糖往往是一种免疫调节剂，具有多种生物活性，如降血脂，降血糖，抗肿瘤，抗病毒等各种药理作用，因此，多糖的研究具有很大的前景。海洋微藻多糖因其特殊的结构及生物活性也引起人们的极大兴趣。

### 1.1 多糖概述

碳水化合物是植物通过光合作用天然合成的一类重要的有机化合物，包括多糖和糖化合物两大类。多糖又称多聚糖(polysaccharide)，是由单糖聚合成聚合度大于10 的极性大分子，自然界中糖类主要以多糖形式存在，多糖是高分子化合物，它们一般为无定形物质、不呈现变旋现象，无味、不溶于水，虽然酸或碱能使之转变为可溶性的，但分子会遭受降解，因此多糖的纯化是比较困难的。根据生物来源的不同，多糖可分为植物多糖，动物多糖和微生物多糖（王镜岩，2002）。在多糖分子中，各单糖之间是经由糖苷键化合的，每两个单糖分子间失掉一个水分子。由一种单糖组成的多糖称为均多糖，由两种或两种以上单糖组成的多糖，称为杂多糖，单糖的衍生物氨基糖和糖醛酸也能参与组成多糖（张力田，1988）。另外，多糖还可以根据其生物功能分为贮存或贮能多糖和结构多糖，如淀粉、糖原等属于贮存多糖，纤维素、壳多糖等属于结构多糖。

#### 1.1.1 多糖的结构

多糖是由单糖聚合而成的聚合物，组成天然多糖的单糖主要有 D-甘露糖，D-果糖，D-半乳糖，L-半乳糖（少量多糖），D-艾杜糖等；戊糖中最普遍的是 D-木糖，L-阿拉伯糖，D-阿拉伯糖。此外，海洋微藻多糖中还含有 L-鼠李糖和 L-

岩藻糖。天然多糖的化学结构一般都具有一定的规律性。例如,甲基化和酶降解实验证明,直链淀粉是由葡萄糖通过 $\alpha$ -1,4-糖苷键结合而成的链状化合物,这种结构在整个分子中重复,因此,麦芽糖可以看做是它的二糖单位。支链淀粉是D-葡萄糖经由 $\alpha$ -1,4和 $\alpha$ -1,6糖苷键联结而成的支叉分子,支叉点为 $\alpha$ -1,6键,其余为 $\alpha$ -1,4键。纤维素也是线性葡聚糖,残基间通过 $\beta$ -1,4糖苷键联结而成,因此纤维二糖可看成是它的二糖单位。虽然多糖的结构具有一定的重复规律性,但是由于组成多糖的单糖种类可能不止一种,并且单糖中存在手性碳原子,因此有构型不同的立体异构体,根据单糖末端羟基位置的不同,每种单糖分为D-和L-构型,另外,多糖还具有六环和五环两种环形,又有 $\alpha$ -、 $\beta$ -两种构型,而糖苷键也可能由不同的羟基形成,多糖聚合物又可能生成直链或支链,所以,单糖组成多糖的方式有很多种,这使得多糖结构的种类多并且十分复杂。结构多样的多糖不同于线性聚合物如蛋白质和核酸等,无论是多糖还是寡糖、多聚糖都有非常复杂的结构。Laine (1994)曾计算过即使一个简单的六糖也有 $1.05 \times 10^{12}$ 种可能的异构体。另外,多糖的复杂性还表现在它可以形成多种衍生物如硫酸酯化、甲基化、乙酰化和磷酸酯化等。在生物体内,多糖还常与其他物质如蛋白质、脂肪等形成糖复合物—糖蛋白,糖肽和糖脂。此外多(寡)糖链还具有较高的柔韧性,易受环境的影响发生构象的变化,从而实现分子之间的相互作用。多糖这种结构的复杂性和多样性决定了多糖复杂多样的生物功能和良好的生物信息活性。

### 1.1.2 海洋微藻胞外多糖

海洋生物体内存在大量多糖类物质。由于生长环境不同,这些多糖类物质不同于陆地生物来源多糖,例如硫酸酯化多糖就是海洋生物多糖所特有的。随着人们对海洋生物多糖研究的深入,发现许多海洋生物体内存在具有多种生物活性的多糖。所以近年来,海洋生物多糖的研究开发已成为一个热门领域。海洋生物多糖根据来源可分为:海藻多糖,海洋动物多糖和海洋微生物多糖。海洋占地球表面积的70.78%,生物种类约占地球生物总量的87%。海藻(Algae或Seaweeds)是海洋生物资源重要的组成部分之一,从分类学上,海藻属于低等隐花植物,与陆地生物不同,没有真正的根、茎和叶。

海洋微藻是海洋生态系统中的最主要初级生产者,具有种类多、数量大、繁



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库